

第二章 氣候變遷下災害脆弱度與影響評估

台灣地區不但位居環太平洋地震帶，也處於西北太平洋地區颱風侵襲的主要路徑，屬於極易受到天然災害影響的區位。世界銀行 2005 年刊行之 Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis 指出，台灣同時暴露於三項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為 73%，而暴露於兩項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口為 99%，屬於全世界災害高風險的區域。

近年來由於全球氣候異常，極端災變天氣發生頻率增加，如 2007 年連續發生五年的澳洲大乾旱、2008 年緬甸納吉斯 (Nargis) 風災、2009 年菲律賓凱莎納(Ketsana)、芭馬(Parma)風災以及台灣的莫拉克風災，2010 年底持續到 2011 年初的澳洲大水災，2011 年底泰國曼谷洪災，菲律賓瓦西(Washi)風災，其災害規模與型態均超出該國的歷史災害經驗，也為該國政府與人民帶來巨大的損失。

根據「台灣氣候變遷科學報告 2011」結果顯示，台灣年平均雨量雖有數十年尺度的乾濕變化特徵，100 年的線性變化趨勢並不明顯，但值得注意的是臺灣降雨日數有較一致的變化，普遍呈現減少的趨勢。同時，統計資料顯示大豪雨日數(日雨量大於 200mm)在近 50 年和近 30 年有明顯增多的趨勢，存在著大約 50~60 年週期的年代際變化(Inter-decadal Variability)現象。未來氣候變遷推估方面，多數氣候模式顯示 21 世紀末臺灣地區的溫度上升幅度介於 2.0°C 至 3.0°C 之間(相對於 20 世紀末)。在雨量部分，臺灣北、中、南、東四個主要分區的未來冬季平均雨量多半都是減少的，約有一半的模式推估減少幅度介於 -3% 至 -22% 之間。未來夏季平均雨量變化，約有一半的模式認為未來夏季平均雨量變化介於 +2% 至 +26% 之間。這種原本多雨期間的雨量增加，而少雨季節雨量減少的未來發展情境，對於臺灣未來的水資源調配是一大挑戰。

該報告顯示西北太平洋颱風以及影響台灣的個數與強度，受年代際變化影響較大，直接受氣候變遷影響之線性變化趨勢則並不明顯。根據大多數氣候模式預測，在暖化的氣候條件下，未來颱風個數偏少的機率偏高，但颱風增強的機率會有增加的可能，意味著未來一方面颱風個數變少減少水資源的挹注，另一方面極端颱風降雨事件出現的機率有增加的可能，提高颱風災害的風險。

在未來災害的趨勢推估上，IPCC(2007)第四次評估報告指出，在氣候暖化影響下，未來極端事件(如熱浪、豪大雨、乾旱、颱風強度增加、海平面升高)發生的機率偏高(66%~90%)，再加上全球經濟發展與人口成長趨勢，世界銀行預估未來災害的次數、受影響人口與災害損失將會大幅增加，2012 年出版的特別報告(IPCC Special Report)亦延續這樣的論點。臺灣的災害特性與全球趨勢一致，以水文氣象災害為主。根據近年來的災害統計(水災、坡地、旱災)分析，臺灣的災害次數增加且災害特性改變(近年來多屬水土複合型災害)，災害

程度也有加劇（災害損失增加與牽涉層面變廣）的現象。

2.1. 氣候與環境變遷之威脅評估面向

臺灣地區因地理環境特殊，氣候與環境變遷引致災害的問題有越來越嚴重之趨勢，台灣面臨的災害威脅可以由三方面分析：自然環境的易致災性、社經發展的影響及氣候變遷的衝擊，說明如次：

- 一、**自然環境的易致災性**：台灣易受颱風的襲擊，為威脅台灣最嚴重的災害天氣，台灣過去 40 年來平均受颱風侵襲約 4-5 次，颱風的侵襲經常造成重大損失，且台灣地區降雨強度高，颱風、梅雨、季風及地形為影響雨量的重要因素，且豐枯水期雨量明顯有別，加上山高水急因而蓄水不易，又兼因地質脆弱、表土鬆軟，經常造成洪、澇及坡地災害，西南沿岸地勢低窪地區逢大雨則更易導致淹水。
- 二、**社經發展的影響**：在產業發展過程中，用水需求大量增加，導致用水調度愈趨緊張，超抽地下水導致地層下陷進一步引發淹水危機；都市化過程一方面因熱島效應可能使得暴雨強度增加，且另一方面因減少透水入滲面積而增加雨水下水道排水負擔；因都市化之人口集中、地下場站、超高大樓與大型空間等，增加災害的暴露量與風險，一旦發生地震、淹水等天然災害的受災程度亦相對提升。同時因高山精緻農業與觀光發展之需求，山坡地與河川地之超限利用與不當開發更是近幾年伴隨社會經濟而導致發生災害的重要原因之一。
- 三、**氣候變遷的衝擊**：全球氣候變化導致各地之氣候變異趨勢有所不同，但位處季風氣候與颱風侵襲路徑之台灣，無可避免的需面臨氣候變遷所帶來的衝擊，例如：極端事件有增加趨勢、颱風降雨強度增加、降雨型態改變、乾旱發生頻率與強度增加與海水位上升威脅...等，雖然氣候變遷對台灣本地的衝擊需進一步的科學證據釐清，但在台灣的自然環境的易致災性與社會經濟變遷的威脅下，面對大環境的氣候改變對災害的可能衝擊不可忽視其嚴重性。

2.2. 台灣遭受之災害衝擊

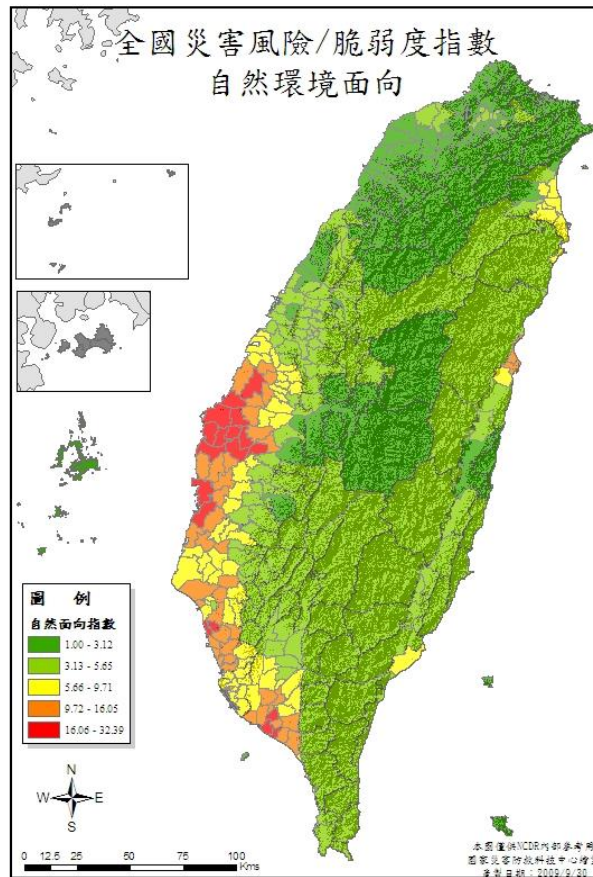
前節所述氣候環境變遷的威脅在台灣地區造成的衝擊主要為洪水災害與坡地災害，以下針對洪災與坡地災害在氣候變遷下可能的衝擊進行描述：

一、洪災

台灣地區地形陡峻、降雨強度集中，近 40 年每年侵襲颱風平均約 4-5 次，再加上梅雨季豪大雨，平均年損失約 128 億元以上。民國 93 年全年颱風侵襲次數高達 9 次，僅敏督利 72 水災淹水面積即達 659 平方公里。而民國 94 年梅雨季 0612 豪雨造成南部地區多處淹水，淹水面積亦超過 500 平方公里，而莫拉克風災所導致之淹水範圍亦超過 300 平方公里。依據國家災害防救科技中心所模擬之淹水潛勢區域，加上近幾年調查颱風受災淹水範圍資料，台灣易淹水低窪地區總面積約 1,150 平方公里，八成集中於縣（市）管河川、區域排水、事業海堤等未完成改善或地層下陷等地區。其中並以宜蘭、台北、彰化、雲林、嘉義、台南及高雄沿海地區鄉鎮為甚。不但造成住宅、農業損失、交通受阻、民眾生活不便與安全威脅，甚而影響國家重大建設（政經中心、高鐵、捷運、科學園區）之安全與營運風險。

台灣之河川受此地文影響，具有河川坡度大、長度短、河川上游集水區地質脆弱、表土沖蝕量顯著等特徵。河川之含砂量高，易造成河道及水庫淤積，將不利於洪水宣洩。此外，台灣每年五月至十月汛期之梅雨及颱風雨之降雨強度強，在坡陡流急以及洪水挾帶大量泥砂往河川下游快速移動之情境下，極易造成洪水災害。再加上土地開發與超限利用，除在河川上游之集水區造成許多坡地崩坍及土石流等災害，在河川下游的城鎮及城市，也因過度之人為開發造成流域自然保水功能減低，使得地面逕流大量增加，區域排水無法負擔進而增加洪水災害之機會。

導致淹水之三大條件為：(1) 過多之降雨量；(2) 地勢之相對低窪；(3) 下游有水流受阻的瓶頸。因此，同樣之降雨量或高強度短延時降雨，因不同之空間分佈，災害之規模將有所不同。在綜合考量氣象、淹水潛勢、地層下陷等環境脆弱度指數，建立淹水災害之環境脆弱度地圖(圖 2.1)，西部地區的彰化、雲林及嘉義縣，西南部地區的台南及屏東縣沿海地區為脆弱度較高地方。若加上人口密度與社會脆弱度分析，南部人口密集之都會區與西南沿海地區之淹水風險更相對提高。



(資料來源:國家災害防救科技中心)

圖 2.1 全國災害風險/脆弱度指數-自然環境面向

在未來氣候變遷可能對洪災的衝擊影響說明如下

1. **降雨強度增加提高淹水風險:**若未來降雨強度增加，將直接衝擊目前之區域排水系統之排水能力與河川堤防之防護能力，過大之降雨強度超過區域排水系統之容量負擔或堤防防護標準將提高淹水之風險，目前之高淹水潛勢地區之淹水頻率將有升高之可能。
2. **極端降雨事件衝擊防災體系之應變與復原能力:**根據統計資料顯示，2000年後極端強降雨颱風有增加之趨勢，極端強降雨颱風(如莫拉克颱風)一方面帶來嚴重衝擊，而災後所導致之環境脆弱度增加與公共建設之復原與重建，問題更大大增加後續災害發生之機率與風險，因此當氣候變遷有可能導致極端事件的發生，將衝擊防災體系之軟硬體層面之應變與復原能力。
3. **海平面上升導致沿海低窪地區排水困難:**依據 IPCC 針對海平面上升之推估，雖然世紀末最高上升水位在 1 公尺以內，且台灣西部沿海地區大都有海堤防護，因此海水位上升不至於直接導致大規模土地消失或淹水，但因海水位上升將使得暴雨侵襲時排水更為困難，且暴潮越堤機率增加，將使得沿

海或沿岸低窪地區增加淹水之風險，尤其是彰雲嘉與高屏沿海低窪地區之高淹水潛勢及地層下陷地區。

4. **暴潮發生機率增加導致淹水機會與時間增加**: 颱風強度增加將增加暴潮發生的機率，近年來由於數次颱風來襲時正逢大潮期間，高潮位加上暴潮之作用阻礙河道下游洪水之排出，在河川洪水及海水倒灌之雙重效應下，大量的水體阻礙於河口處，造成沿海地區嚴重且長時間之淹水災害。此種淹水除災害損失尤其嚴重外，亦將造成淹水之時間延長，增加受災居民之不便及延緩復原工作之進行。

二、坡地災害

坡地因其地形、地質、水文、植被等自然條件，易因颱風、暴雨、地震及人為不當開墾等因素，發生土壤沖蝕、崩塌、地滑或是土石流等現象。一旦發生前述之現象，不但會使坡地上之建設或是房舍受到不同程度之損害，亦會造成山坡下鄰近地區房舍及各項設施之損害及人命傷亡，此種現象稱之為「坡地災害」。坡地災害除較為一般人所知的土石流、崩塌及順向坡滑動外，尚包括落石、地滑、潛移等破壞模式 (洪如江，1999)。

台灣地區位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，地震活動頻繁、地形複雜、陡峭且地質破碎，並有 73.6% 以上土地，屬於山坡地及高山林地，坡地災害難以避免，由於台灣地區劇烈降雨強度有增加趨勢，加上 921 地震對中部山區造成地質破碎的影響等，導致每逢颱風、豪雨期間，發生山坡地崩塌與土石流災害事件之頻率更甚以往。同時坡地災害的規模與頻率的增加所導致的大量土砂沖刷與漂流木，嚴重威脅水庫、橋梁與堤防等重要基礎設施與公共建設之安全。另一方面，隨著居住與山區觀光的需求增加，「都會型坡地社區」的開發以及山區道路、高山農業與遊憩設施的興建等人為因素更增加坡地災害的衝擊與風險。2009 年莫拉克風災在南部地區所導致之重大人命傷亡與社會衝擊，更加突顯了山區極端降雨變異與脆弱國土環境在坡地災害面向的嚴重威脅與潛在風險。

根據水土保持局與國家災害防救科技中心紀錄之歷年重大坡地災害 (圖 2.2)，包括從 1982 年西仕颱風對台北縣林口造成的災害；1986 韋恩颱風造成南投縣信義及豐丘 68 人死亡；1987 琳恩颱風在台北縣瑞芳、汐止、平溪等地損失也相當嚴重，1996 年賀伯颱風再度重創南投縣信義鄉；隨後 1999 年發生 921 集集大地震後，導致中部山區土石鬆動，在加上 2000 年象神颱風、2001 桃芝颱風、2001 年納莉颱風、2004 年敏督利颱風、2004 年艾莉颱風等重創山區，都造成嚴重土石流與崩塌之坡地災害，**其發生災害的地區與規模都與強降雨的分布有關**。尤其以 2009 年莫拉克颱風造成的災害更是典型的劇烈降雨導致坡地災害發生的例子。

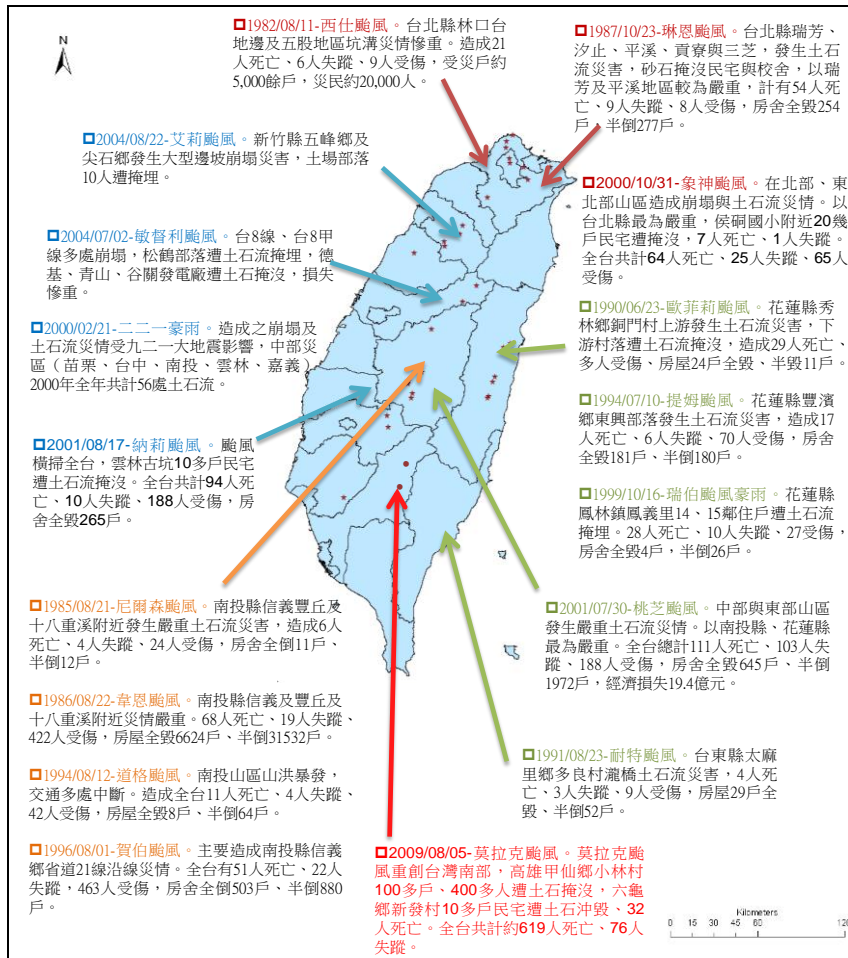


圖 2.2 台灣地區歷年重大坡地災害紀錄分布圖

台灣地區發生坡地災害之致災因子涵蓋範圍廣泛包括自然環境變化面向、人為與社會變遷面向，簡述如下：

- 1. 地文脆弱地區：**包括易發生坡地災害之陡坡地形、破碎帶、順向坡地質、植被不良或高地下水位之環境特性等地區，都屬於地文脆弱地區。
- 2. 地震破壞地質穩定：**地震之後造成山區土石鬆動，特別容易在颱風豪雨的侵蝕下發生坡地災害，文獻指出，地震之後需要幾十年以上的時間地層才能趨於穩定，以 921 地震為例，地震過後，中部山區在颱風期間發生多起大規模崩塌與土石流。
- 3. 劇烈降雨與氣候變異：**台灣地區受氣候異常影響，劇烈降雨強度增加，導致水文事件愈趨極端，除颱風侵襲次數遽增外，也出現降雨日數減少及降雨集中之趨勢，導致坡地災害之受災範圍與程度日益嚴重。
- 4. 坡地開發破壞水土保持：**台灣山區屬明顯陡峭的高山地形，地質構造節理發達地區，因此在面臨颱風、豪雨侵襲，易生坡地災害，加上人為的山坡地開發活動，休閒民宿、茶園、高山農業、觀光過度發展或土地超限利用

等，若未做好水土保持，將更加重坡地災害的嚴重性。

5. **山區道路開發**：山區道路開發，影響坡腳穩定，即容易有發生崩塌等坡地災害。為引起坡地災害主要的開發行為。

如前所述台灣過去歷史坡地災害發生之原因複雜且各有不同，坡地災害的衝擊的空間區位，可依據歷史災害點位及地文特性、降雨機率、社會脆弱性、暴露量等分級，呈現台灣坡地災害的風險空間區位分布（圖 2.3）。圖中顯示新竹、苗栗、台中、南投、嘉義、高雄等山區為坡地災害風險指標最高的地方。

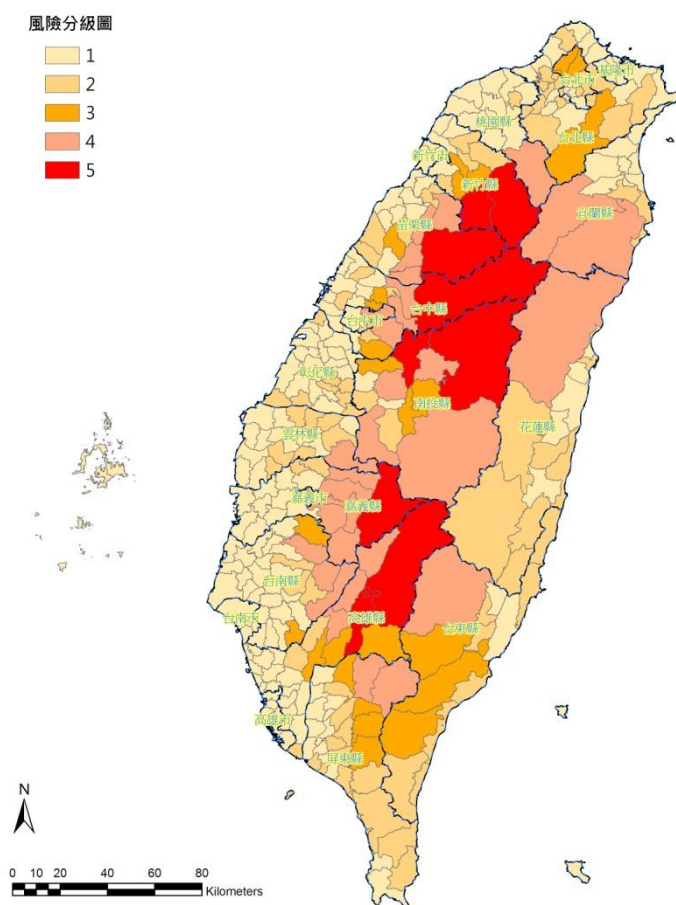


圖 2.3 坡地災害風險分級（以鄉鎮為單元）

極端降雨與氣候變異事坡地災害發生的重要原因之一，在未來氣候變遷可能對坡地災害的衝擊影響說明如下：

1. **降雨強度增加導致嚴重之水土複合性災害**:坡地致災原因與降雨強度息息

相關，若未來降雨強度增加，將直接衝擊現有已相當脆弱的國土環境，非但坡地崩塌與土石流發生的機率增加，而其衍生的水土災害所帶來的影響將更為嚴重，例如山區部落與學校的安全、關鍵基礎設施的永續(如水庫、橋梁、堤防以及電塔...等)、水質穩定與水庫操作、土沙沖刷與河道淤積、漂流木與堰塞湖問題、山區的觀光與產業衝擊以及高齡化人口與醫療資源缺乏之防災弱勢族群...等問題。在在衝擊政府在防災體系之應變與長遠防減災政策之規劃。

2. **極端事件提高災害風險與復原難度:**若颱風連續侵襲或是引發極端災害，坡地災害的復原與重建問題將較洪災衝擊更為嚴重，以莫拉克颱風為例，災民安置問題、山區道路橋梁復原重建、山區崩塌土方量增加提高二次災害風險，水庫與河道淤積嚴重、災害之堰塞湖...等，連續性的災害將是面臨氣候變遷衝擊必須正視的問題。
3. **大規模崩塌災害:**高雄縣小林村在莫拉克颱風衝擊的災害事件，引起高度關注，這場崩塌總面積達 250 餘公頃、崩塌深度最深達 84 公尺，無論崩塌規模與深度皆是前所未見，崩塌最主要原因為：大量累積降雨造成崩塌量達 2 千萬立方公尺；更早 2008 年，辛樂克颱風在豐丘明隧道附近的崩塌造成 7 人遇難；2004 年艾利颱風豪雨在新竹五峰鄉土場崩塌，土方量達 100 萬立方公尺，造成 15 人遇難，同一颱風事件石門水庫上游桃 113 線公路邊坡順向坡滑動阻斷交通。上述事件都顯示台灣地區在面臨極端降雨衝擊可能發生的大規模坡地災害，將是坡地防災重要課題。

三、海岸災害

海岸法(草案)中定義「海岸災害」：指在海岸地區因地震、海嘯、暴潮、波浪、地盤變動或其他自然及人為因素所造成之災害。除大規模地震外，暴潮是引起海岸地區嚴重災害的主要外力，而暴潮主要是由颱風所引起，通常颱風的中心為低氣壓，容易致使海面升高，海面傾斜，而導致沿海低窪地發生淹水、海水倒灌，海岸侵蝕，漁業、港埠海堤設施之損毀，釀成重大災害。颱風暴潮多見於夏秋季節颱風頻繁期間，其特點是速度快、強度大、破壞力強，凡是有颱風影響的海岸地區均可能發生。台灣地區因東、西海岸地理特性差異大，因此颱風從東、西岸侵襲造成的災害差異就大，以 2009 年蓮花颱風為例，颱風沿台灣海峽雖未登陸即造成西南沿海地區海岸災害。

國家災害防救科技中心根據 UN/UNEP¹所提出的海岸脆弱度指標(Coastal Vulnerability Index, CVI) 考量海岸地區的人口密度(PDI) 、天然災害發生機率(NDI) 、森林覆蓋率(FI) 、地理暴露量(Geographic Exposure)(GEI)、人類發展

¹ A Singh, S Pathirana & H Shi, Division of Early Warning and Assessment, UNEP, Nairobi, Kenya, "Assessing coastal vulnerability: developing a global index for measuring risk", United Nations Environmental Programme, 2005.

指標(HDI)，共計算 118 個國家的海岸脆弱度(CVI)，臺灣海岸脆弱度指數(CVI) 為 0.517，分級屬於高等，全球排名第 16 名，是嚴重脆弱區域；若依據 UNEP 的方法分別計算臺灣本島沿海鄉鎮之脆弱度，並將之分級，如圖 2.4 所示，海岸脆弱地區主要分布在雲林、嘉義、臺南、高雄等縣市的海岸。



圖 2.4 臺灣地區海岸脆弱度分級

根據世界氣象組織(WMO)公布最新研究指出，2100 年海平面上升達 1.4 公尺，依此計算當海平面上升後，以目前地表水平高程，將有 770 平方公里的土地在未來將暴露在海平面以下，如圖 2.5 所示，集中在台南縣市、嘉義縣、高雄縣市、屏東縣、宜蘭縣、彰化縣、雲林縣及淡水河沿岸等地，此一面積約 2.8 倍台北市的面積。

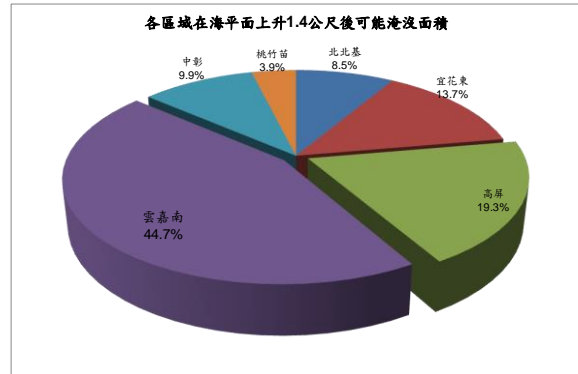


圖 2.5 沿海地區暴露在海平面上升 1.4 公尺的地區

2.3. 災害衝擊之課題分析

「流域型複合災害」：以水、土、道路橋樑複合型災害為主要類型。又可細分為以下幾個子課題：

- ◎ 流域內未來可能發生災害的情境與規模
- ◎ 流域水、土衝擊情境與模擬
- ◎ 堤防、跨河橋梁防護能力與設計標準的檢討與評估
- ◎ 高致災風險區之區位與調適能力評估
- ◎ 河道土砂淤積，通水斷面檢討
- ◎ 水庫淤積，水資源供需、調配規劃
- ◎ 低位河階道路補強與改道評估
- ◎ 流域治理事務協調與制度設計
- ◎ 流域綜合土地分區使用的檢討

「都市化災害風險威脅」：主要課題為高密度與發展區域。又可細分為以下幾個子課題：

- ◎ 都市防洪能力與設計標準檢討
- ◎ 建築技術法規與都市計畫之檢討與修訂
- ◎ 都市開發密度與發展強度的檢討與限制
- ◎ 都會型坡地社區之風險評估與管理
- ◎ 關鍵公共設施與重大工程建設受災害衝擊之脆弱評估
- ◎ 都會型災害風險分散與巨災因應策略之擬定

「高脆弱及敏感的山區環境」：主要課題為地文高脆弱度與環境敏感區，又可細分為以下幾個子課題：

- ◎ 山區產業經濟發展型態與強度調整檢討
- ◎ 山坡地特定地區管制與區位的檢討(如原住民保留地、國家公園、國家風景區、特定水土保持區)
- ◎ 山區公共工程及交通運輸建設之檢討
- ◎ 大量崩塌土砂堆、淤積問題與解決之道
- ◎ 大規模災後遷居安置等土地使用規範

「海岸脆弱與嚴重地層下陷區」：主要課題為高脆弱度與災害風險區，又可細分為以下幾個子課題：

- ◎ 海平面上升對國土溢淹災害風險評估
- ◎ 海岸災害衝擊生態環境破壞
- ◎ 海岸侵蝕之國土流失與退縮評估
- ◎ 海岸災害對經濟產業衝擊的調適評估
- ◎ 地層下陷區國土保全創新對策研擬
- ◎ 地層下陷區之排水與防洪治理整體規劃
- ◎ 海平面上升、嚴重地層下陷衝擊地區民眾遷居規劃評估

綜合以上所述，氣候與環境變遷對台灣的災害衝擊問題相當複雜，無論是對不同災害類別的衝擊，或對空間單元所造成的影響，災害面向面對氣候變遷與極端氣候最主要的兩個問題乃：(圖 2.6)

- 我們如何面對極端氣候所導致之「災害規模擴大並超過歷史經驗」的可能?
- 我們如何面對氣候變遷下「災害特性改變與頻率增加」的衝擊?

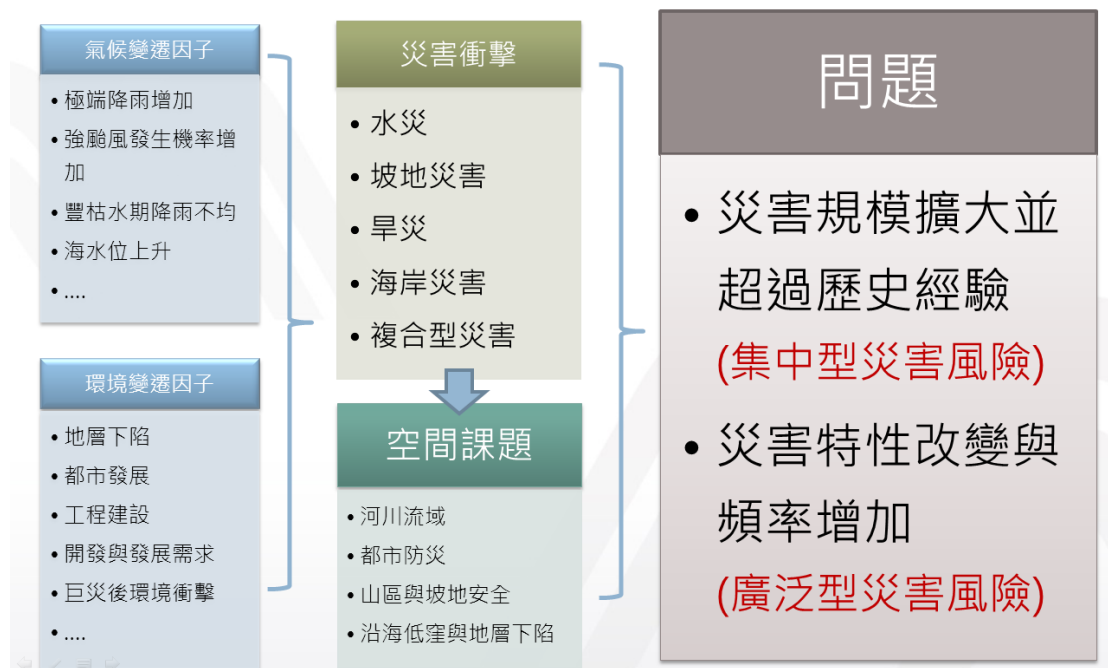


圖 2.6 氣候變遷與極端氣候對災害衝擊的關鍵問題